

## MUERTE POR SUMERSION: EN BUSCA DE UN DIAGNOSTICO

*Armando Rennella*

Uno de los problemas de difícil resolución en medicina legal ha sido establecer una técnica adecuada que permita discriminar con certeza los casos en que la muerte es producto de una sumersión vital, de aquellos donde el cuerpo sin vida de la víctima es arrojado al agua con el fin de ocultar un homicidio<sup>1</sup>. Un largo debate al respecto se inició a fines del siglo XIX y continúa en la actualidad. Una de las principales dificultades radica en que, bajo estas circunstancias, los indicadores fisiológicos poseen un valor limitado, especialmente cuando el cuerpo de la víctima presenta un elevado grado de descomposición<sup>2</sup>. En el último siglo se han propuesto y descartado numerosas técnicas de diagnóstico (para una revisión detallada consultar Trezza et al.<sup>3</sup>). Dentro de las técnicas sugeridas, son muchos los autores que han puesto de manifiesto la importancia y el valor que poseen el estudio e identificación de las diatomeas como indicadores biológicos<sup>4, 5, 6</sup>. En efecto, en la ausencia de otro tipo de evidencia, la presencia de diatomeas en los tejidos corporales resulta uno de los indicadores más confiables de muerte por sumersión<sup>2</sup>. Aún en las situaciones en las que sólo quedarán restos esqueléticos sería posible determinar la presencia de diatomeas en la médula ósea de la víctima<sup>1</sup>.

Desde que Van Leeuwenhoek creara el microscopio en el año 1676, un nuevo mundo, el de los microorganismos, se abría para las ciencias biológicas. Los microorganismos y de un modo particular, aquellos que proliferan en los sistemas acuáticos, son increíblemente numerosos y diversos. Se conoce con el nombre específico de plancton a todos aquellos organismos vivos que desarrollan su ciclo vital (o parte de él) suspendidos en el agua. Por otra parte, todos aquellos organismos microscópicos que se encuentren adheridos a un sustrato sumergido en el medio acuático forman parte del grupo llamado bentos. Las diatomeas, que conforman el grupo de las Bacillariophyceae, son organismos unicelulares que forman parte de este mundo microscópico. Muchas de ellas viven aisladas unas de otras, sin embargo, existen grupos capaces de formar agregados de un número variable de células. Estas algas poseen pigmentos fotosintéticos y por lo tanto, según su modo de vida, forman parte del fitoplancton o del fitobentos. A diferencia del resto de las algas microscópicas las diatomeas se destacan por poseer una envoltura rígida de sílice denominada frústulo. Esta estructura no es afectada por la putrefacción o la degradación ya sea por elevadas temperaturas o por la acción de ácidos. El frústulo está compuesto por dos piezas princi-

pales llamadas valvas. La valva no es en modo alguno una estructura lisa y uniforme, por el contrario, posee numerosos poros que permiten el intercambio de sustancias entre la célula y el medio externo. La disposición de estos poros así como la forma

general de la valva pueden variar notablemente de una especie a la otra (Figura 1) y son por lo tanto estas características las que, tradicionalmente, se tienen en cuenta para clasificar taxonómicamente los diferentes grupos de diatomeas.

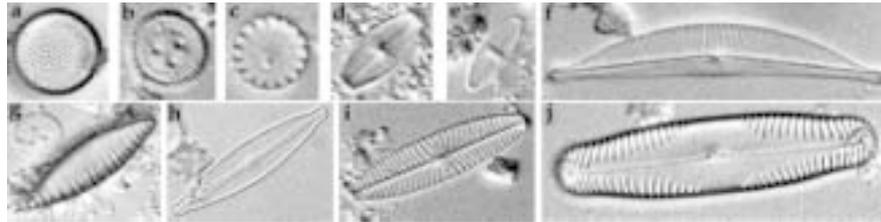


Figura 1. Diversos tipos de valvas de diatomeas. Todas las fotografías fueron realizadas a partir de muestras recolectadas en el Arroyo Riachuelo, Buenos Aires. a) *Actinocyclus normanii*, b) *Cyclotella ocellata*, c) *Cyclotella meneghiniana*, d) *Sellaphora pupula*, e) *Luticola goeppertiana*, f) *Amphora coffeaeformis*, g) *Nitzschia* cf. *amphibioides*, h) *Craticula* cf. *halophila*, i) *Navicula recens*, j) *Pinnularia gibba*.

Durante el transcurso de la sumersión vital, ingresan al pulmón junto con el líquido de sumersión todas aquellas partículas que se encuentran en suspensión. Las partículas cuyo tamaño sea menor a los 30 micrones podrán potencialmente atravesar la interfase alveolo-capilar e ingresar a la circulación general<sup>3 7</sup>. Una vez en el sistema circulatorio serán dispersadas, alojándose en los diferentes órganos.

La confirmación de la presencia de estas partículas en los tejidos cadavéricos sería entonces un poderoso indicador de que la causa del deceso fue la asfixia por sumersión. Podríamos preguntarnos por qué entre las numerosas partículas bióticas (fitoplancton y zooplancton) y abióticas (geoplancton) que se encuentran presentes en los sistemas acuáticos debiéramos elegir las diatomeas como las indicadoras más confiables.

En primer lugar, como hemos mencionado anteriormente, el frústulo de las diatomeas es prácticamen-

te inalterable. En efecto, su estructura compuesta por sílice no es afectada por la acción de los organismos descomponedores, de este modo sabemos que persistirá intacto independientemente del estado de conservación en que sea encontrado el cadáver. Por el contrario, y salvo contadas excepciones, el resto de las algas microscópicas, que carecen de esta envoltura de sílice, son degradadas rápidamente y por lo tanto su ausencia en los tejidos de la víctima no sería un indicio confiable de que la muerte se produjera por causas diferentes al ahogamiento.

Una gran cantidad de especies de diatomeas posee un tamaño menor a 30 micrones, que como vimos representa el límite para que una partícula logre ingresar desde la cavidad pulmonar al sistema circulatorio. Esta restricción deja de lado a la mayoría de los organismos del zooplancton cuyo tamaño suele superar holgadamente esa cifra.

Las concentraciones de diatomeas

en los sistemas acuáticos pueden llegar a ser lo suficientemente elevadas como para que un número apreciable de ellas se aloje en los tejidos durante la sumersión vital, de modo tal que puedan ser cuantificadas durante el diagnóstico. Una vez más el zooplancton queda descartado ya que es, por mucho, menos abundante que el fitoplancton.

Por último, la morfología característica de las valvas hace que sea imposible confundirlas con cualquier otra estructura presente dentro del cuerpo humano. Esta es una diferencia importante respecto del uso del geoplancton como indicador ya que, como se ha comprobado, este último puede ser fácilmente confundido con constituyentes normales del organismo<sup>3</sup>.

De este modo, entre todas las posibles sustancias que se encuentran en suspensión en el medio acuático, podemos afirmar que las diatomeas reúnen una serie de características que las transforman en los indicadores más adecuados para el diagnóstico de muerte por sumersión.

Sin embargo, que las diatomeas sean los indicadores más confiables no implica que no deban ser utilizadas con sumo cuidado para no arribar a conclusiones erróneas. En efecto, un uso inadecuado de esta técnica podría conducir a diagnosticar tanto falsos resultados positivos como negativos.

#### **FALSOS RESULTADOS NEGATIVOS**

Si la concentración de diatomeas en el medio acuático no fuera lo suficientemente elevada, entonces las mismas perderían sentido como indicadores biológicos de la

sumersión vital. En este caso, obviamente las diatomeas no ingresarían en número suficiente en el organismo y no serían halladas en los órganos de la víctima, aún si esta efectivamente se hubiera ahogado. Es por lo tanto necesario para poder confirmar un diagnóstico negativo analizar la presencia de diatomeas en el ambiente donde fue recuperado el cadáver y establecer si eran abundantes en el momento del incidente. Aún así, la ausencia de diatomeas en los tejidos cadavéricos no debería invalidar un diagnóstico positivo de sumersión si el resto de las evidencias lo confirmaran claramente.

#### **FALSOS RESULTADOS POSITIVOS**

Entre las principales objeciones al uso de diatomeas en el diagnóstico de sumersión, figura el hecho de que estas algas pueden ser incorporadas en el organismo a lo largo de la vida, ya sea por ingestión o por inhalación. Esto es particularmente probable en aquellos individuos que vivan en las cercanías o practiquen actividades que impliquen un elevado contacto con sistemas acuáticos (pesca, deportes náuticos, etc.). Confirman estos cuestionamientos la existencia de estudios que revelan la presencia de diatomeas en tejidos cadavéricos de sujetos que con certeza no murieron ahogados. Este hecho determina que la mera presencia de diatomeas en los tejidos cadavéricos es un factor necesario pero no suficiente para establecer un diagnóstico positivo. Para salvar esta dificultad se han propuesto dos criterios de diagnóstico que se complementan mutuamente.

**Criterio cuantitativo:** Es necesario establecer un valor mínimo en el

número de diatomeas encontradas en los tejidos cadavéricos para determinar un resultado positivo. La razón de esto último es que en caso de ocurrir una sumersión vital el número de diatomeas encontradas en los tejidos es muy superior a las que se encontraría como consecuencia de la incorporación gradual en vida. El criterio entonces ya no es la presencia de diatomeas, sino el número en que estas se encuentren en los tejidos<sup>1</sup>.

Criterio cualitativo: Por otro lado es necesario comparar las especies de diatomeas encontradas en los tejidos cadavéricos con las presentes en el sistema acuático donde se sospecha que ocurrió la sumersión, ya que difícilmente las especies de diatomeas incorporadas a lo largo de la vida coincidan con las presentes en el curso de agua. En este último caso el criterio está dado no sólo por el número de diatomeas presentes, sino por la coincidencia en la composición de especies encontradas en los órganos de las víctimas y en el medio acuático.

En conclusión, la presencia de diatomeas puede ser considerada como un indicador de muerte por sumersión sólo cuando un número lo suficientemente elevado de estas algas microscópicas es hallado en el interior de los tejidos de la víctima y al mismo tiempo su composición coincide con la encontrada en el curso de agua donde se sospecha que ocurrió la sumersión<sup>9</sup>. De este modo queda pautada la necesidad de que se cumpla el doble criterio (cuantitativo y cualitativo) para establecer correctamente un diagnóstico positivo.

Otras de las objeciones realizadas a esta técnica se centran en el hecho de que en un cuerpo sumer-

gido a grandes profundidades puede ocurrir una penetración pasiva, *post-mortem* (fundamentalmente en cavidad pulmonar) de diatomeas como consecuencia de la elevada presión hidrostática que es ejercida sobre los tejidos. De este modo, podrían diagnosticarse falsos positivos dado que se detectaría la presencia de diatomeas que no habrían ingresado por inhalación de líquido durante la sumersión. Si bien es una objeción válida, la clave está en qué tipos de tejidos son analizados para determinar la presencia de diatomeas en ellos. Estudios previos confirman la posibilidad de penetración pasiva *post-mortem* en tejido pulmonar, pero no en cavidades cardíacas ni médula ósea<sup>3</sup>. Estos últimos son entonces los tejidos adecuados para el diagnóstico de muerte por sumersión usando diatomeas como indicadores. Debido a la baja probabilidad de penetración pasiva de diatomeas la médula ósea es uno de los tejidos de mayor valor de diagnóstico. Efectivamente, la presencia de diatomeas en la médula ósea de la víctima ha sido considerada por varios autores como un claro indicador de muerte por sumersión<sup>9 10</sup>.

Hasta aquí hemos analizado por qué las diatomeas son un indicador creíble en el diagnóstico de muerte por sumersión, pero las diatomeas no sólo pueden confirmar las causas, sino también iluminar las circunstancias. Desde la medicina legal es tan importante determinar los motivos que causaron una muerte como también aportar información acerca de las circunstancias en que esta ocurrió. ¿Pueden las diatomeas brindar información acerca del lugar donde la víctima se precipitó al agua o del momento en que esto sucedió? La respuesta es afirmativa.

Hemos establecido la necesidad del doble criterio para decretar un diagnóstico positivo, pero qué ocurre si se cumple el criterio cuantitativo pero no el cualitativo. En este caso tendríamos evidencia que indicaría que la persona murió ahogada, pero no en el sitio donde fue encontrado el cadáver. Sin embargo, es posible a partir del análisis de las especies de diatomeas presentes en los tejidos de la víctima establecer las características ambientales del sistema acuático donde se produjo el deceso. Esto es así porque muchas especies de diatomeas presentan una elevada sensibilidad a los cambios en las condiciones ambientales. Esta característica las transforma en excelentes indicadores del medio en que se desarrollan. De esta manera, las distintas especies de diatomeas pueden ser separadas en grupos ecológicos en función de sus requerimientos<sup>11</sup>. Los análisis cualitativos de diatomeas en muestras previas en los sistemas acuáticos de la región donde fue hallado el cuerpo podrían permitir la identificación del lugar preciso donde se produjo la sumersión<sup>12</sup>. En este sentido sirve de ejemplo el trabajo de Auer<sup>13</sup>, donde reporta seis casos de sumersión en los que gracias a la comparación de las especies de diatomeas encontradas en los tejidos de las víctimas y teniendo en cuenta sus características ecológicas, fue posible determinar el lugar de la sumersión.

Como hemos dicho, para poder realizar una estimación precisa, es necesario poseer el conocimiento de las especies de diatomeas presentes en los distintos cursos de agua no sólo identificando su patrón de distribución sino también analizando su variación estacional ya que la composición y abundancia de las

diatomeas varían considerablemente según la estación del año<sup>14</sup>.

Con el fin de ejemplificar de qué manera la variación espacial en la composición de diatomeas está fuertemente correlacionada con la variación ambiental, realizamos un análisis comparativo de las especies de diatomeas presentes en tres sistemas acuáticos del área metropolitana que son claramente diferentes entre sí. Estos sistemas son la franja costera del Río de la Plata<sup>15</sup>, un arroyo de llanura que desemboca en dicho río<sup>16</sup> y un lago urbano<sup>17</sup>. En los tres estudios se monitoreó la composición de diatomeas (entre otros componentes del fitoplancton) de manera estacional por un período de tiempo superior al año. De este modo podemos asumir que la flora diatomológica que caracteriza los tres tipos de sistemas ha sido identificada. La primera diferencia que surge al comparar estos sistemas está dada por el número de especies de diatomeas encontradas en cada uno de ellos (Tabla 1). La franja costera del Río de la Plata presenta la mayor riqueza específica en tanto que el lago urbano es el que posee el menor número de especies. Esta variación en el número de especies está claramente correlacionada con la heterogeneidad espacial que presenta cada uno de los sistemas analizados.

Al comparar la proporción de especies en común entre los tres sistemas (Tabla 1), en ningún caso estas superan el 40 por ciento de las presentes. Es decir, la mayoría de las especies son características y representativas del sistema en el que se encuentran.

Es posible identificar patrones similares si se comparan sitios diferentes dentro de cada uno de los

**Tabla 1** Número total de especies y porcentaje de especies en común entre los tres sistemas acuáticos comparados.

	Número de especies	Río de la Plata	Arroyo de llanura	Lago urbano
Río de la Plata	76	—	26	5
Arroyo de llanura	56	36	—	7
Lago urbano	12	33	33	—

sistemas analizados. Por ejemplo, las especies de diatomeas en las nacientes del arroyo de llanura son diferentes de la que se encuentran en la desembocadura<sup>18</sup> (donde la influencia del Río de la Plata es mayor). Igualmente, en el lago urbano las diatomeas pertenecientes al fitoplancton son diferentes a las del fitobentos.

Hemos observado cómo las especies de diatomeas pueden presentar marcadas variaciones espaciales según cambien las características ambientales. Es fácil comprender, entonces, cómo a partir de la composición de especies presentes en los tejidos cadavéricos es posible determinar con cierto grado de precisión las características ambientales del sitio donde se produjo la sumersión.

Así como la composición de diatomeas varía espacialmente, también lo hace estacionalmente<sup>14</sup> y de un modo tal que el patrón de sucesión de especies (el modo en que se reemplazan unas a otras) se mantiene más o menos constante de un año a otro. Esto quiere decir que para un sitio determinado habrá un conjunto de especies que caractericen cada una de las estaciones del año. Una vez más, entonces, a partir de la composición de especies de diatomeas halladas en los tejidos es posible estimar de manera aproximada la época del año en que ocurrió la sumersión.

## CONCLUSIONES

Las diatomeas reúnen una serie de características que las convierten en indicadores muy confiables en el diagnóstico de muerte por sumersión, sin embargo es necesario ser extremadamente cuidadoso en el uso de esta técnica. A lo largo de la vida de un individuo pueden incorporarse de manera gradual frústulos de diatomeas en su organismo. Por lo tanto, la mera presencia de diatomeas no es un indicador suficiente de muerte por sumersión. Es necesario, entonces, establecer un número mínimo de diatomeas presentes en los tejidos corporales para diagnosticar correctamente un resultado positivo. Debido a la probabilidad de penetración pasiva post-mortem de diatomeas en la mayoría de los órganos, los tejidos adecuados para realizar el diagnóstico de muerte por sumersión son médula ósea y sangre de cavidades cardíacas. El estudio comparativo de las especies de diatomeas halladas en los tejidos y en el curso de agua donde se recuperó el cadáver podría no sólo confirmar las causas de la muerte sino aportar información de valor, para determinar el sitio donde se produjo la sumersión. La ausencia de diatomeas en el material cadavérico no permite excluir de manera certera la posibilidad de una muerte por sumersión, sobretodo si el resto de las evidencias la confirman claramente.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Ludes, B & M. Coste. 1996. Diatomées et Médecine Légale. Applications de la recherche des diatomées au diagnostic de la submersion vitale. *Technique & Documentation*, Paris. 258 pp.
2. Kobayashi, M.; Y. Yamada; W. D. Zhang; Y. Itakura; M. Nagao & T. Takatori. 1993. Novel detection of plankton from lung tissue by enzymatic digestion method. *Forensic Science International*. 60: 81-90.
3. Trezza, F. C.; J. A. Ravioli & C. A. Navari. 1996. Análisis de marcadores biológicos de sumersión. *Pren. Méd. Argent.* 83: 337-343.
4. Timperman, J. 1972. The diagnosis of drowning. A review. *Forensic Sci.* 1:397-407.
5. Auer, A. & M. Mottonen. 1988. Diatoms and drowning. *Z. Rechtsmed.* 101:87-98.
6. Ludes, B.; S. Quantin; M. Coste & P. Mangin. 1994. Application of a simple enzymatic digestion method for diatom detection in the diagnosis of drowning in putrefied corpses by diatom analysis. *Int. J. Leg. Med.* 107:37-41.
7. Lunetta, P.; A. Penttilä & G. Hällfors. 1998. Scanning and transmission electron microscopical evidence of the capacity of diatoms to penetrate the alveolo capillary barrier in drowning. *International Journal of Legal Medicine* 111: 229-237.
8. Moar, J. J. 1983. Drowning-postmortem appearances and forensic significance. A case report. *S. Afr. Med. J.* 64: 792-795.
9. Koseki, J. 1969. Investigations on the bone marrow as material in the diatom method of diagnosing death by drowning. *Acta Med. Biol.* 16: 85-90.
10. Kan, T. 1973. Studies on the determination of drowning from bones. *Jap. J. Legal Med.* 27: 68-70.
11. Reynolds, C. S.; V. Huszar; C. Kruk, L. Naselli-Flores & S. Melo. 2003. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 24: 417-428.
12. Ludes, B.; M. Coste; N. North; S. Doray; A. Tracqui & P. Kintz. 1999. Diatom analysis in victim's tissues as an indicator of the site of drowning. *Int. J. Legal Med.* 112: 163-166.
13. Auer, A. 1991. Qualitative diatom analysis as a tool to diagnose drowning. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*. 12: 213-218.
14. Sommer, U.; Z. M. Gliwicz; W. Lampert & A. Duncan. 1986. The PEG model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Arch. Hydrobiol.* 106: 433-471.
15. Gómez, N. & D. E. Bauer. 2000. Diversidad fitoplanctónica en la franja costera sur del Río de la Plata. *Biología Acuática* 19: 7-26.
16. Loez, C. R & A. Salibián. 1990. Première dones sur le phytoplankton et les caractéristiques physico-chimiques du rio Reconquista (Buenos Aires, Argentine). *Rev. Hydrobiol.* 21: 283-296.
17. Izaguirre, I.; M. Boveda & G. Tell. 1986. Dinámica del fitoplancton y características limnológicas en dos estanques de la ciudad de Buenos Aires. *Physis* 44: 25-38.
18. del Giorgio, P.A.; A. L. Vinocur; R. J. Lombardo & H. G. Tell. 1991. Progressive changes in the structure and dynamics of the phytoplankton community along a pollution gradient in a lowland river – a multivariate approach-. *Hydrobiologia* 224:139-154.